

①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND

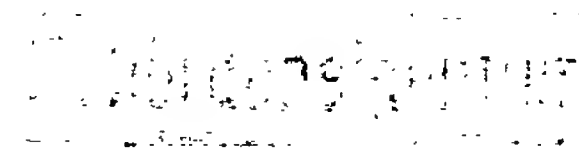


DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 37 24 656 A 1**

⑤① Int. Cl. 4:  
**G 01 B 11/03**  
// G 01 B 11/24

②① Aktenzeichen: P 37 24 656.9  
②② Anmeldetag: 25. 7. 87  
④③ Offenlegungstag: 18. 8. 88



DE 37 24 656 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

⑦① Anmelder:  
Daimler-Benz AG, 7000 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Schüßler, Hans.-H. Dr.-Ing., 7053 Kernen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Mehrdimensionale Meßmaschine

Die Erfindung betrifft eine mehrdimensionale Meßmaschine für lineare, räumlich gekrümmte Werkstücke, z. B. Rohrleitungen oder Blechkanten. Am Außenende eines räumlich bewegbaren, lagedetektierenden Meßarmes ist ein räumlich verschwenkbarer, ebenfalls lagedetektierender Sensor angebracht, der orthogonal zum Konturverlauf des Meßobjektes an eine bestimmte Stelle angetastet werden kann. Um berührungsfrei und ohne Krafrückwirkungen auf das Werkstück antasten zu können, ist der Sensor als eine über das lineare Meßobjekt hinwegführbare Mehrfach-Gabellichtschranke ausgebildet. Die Lichtstrahlen der verschiedenen, winklig zueinander stehenden aber in einer einheitlichen Ebene liegenden Lichtschranken weisen einen definierten Durchmesser auf. Bei Abschattung der Lichtschranken um einen bestimmten Bruchteil wird eine Lagedetektion ausgelöst und damit für einen bestimmten Meßobjekt-Konturpunkt die Lage und Richtung seiner Tangente ermittelt. Für eine bestimmte Querschnittsebene des Meßobjektes ergeben sich aus der aufeinanderfolgenden Abschattung der einzelnen Lichtschranken und ihrer jeweiligen Raumlage - sie hüllen gewissermaßen den Querschnitt ein - der Rohrdurchmesser, die Mittelpunktlage des Rohrquerschnittes und eine etwaige Abweichung von der Kreisform.

DE 37 24 656 A 1

1. Mehrdimensionale Meßmaschine für lineare, mehrdimensional gekrümmte Werkstücke oder Konturverläufe — Meßobjekte —, mit einem räumlich bewegbaren, lagedetektierenden Meßarm und einem an dessen Ende angebrachten, räumlich verschwenkbaren, ebenfalls lagedetektierenden orthogonal zum Konturverlauf des linearen Meßobjektes an eine bestimmte Stelle antastbaren Sensor, wobei aus den Lagedetektierungen von Meßarm und schwenkbarem Sensor die Raumlage des antasteten Bereiches des Meßobjektes ermittelbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Sensor (4, 4', 4'', 4''') als eine über das lineare Meßobjekt (5, 5') hinwegführbare Mehrfach-Gabellichtschranke mit mehreren, winklig zueinander, aber in einer einheitlichen Ebene angeordneten, gesonderten Lichtschranken (7) mit jeweils definiertem Strahldurchmesser ( $d$ ) ausgebildet ist, wobei eine Lagedetektion bei Abschattung jeweils eines definierten Bruchteiles des Lichtstrahles einer jeden Lichtschranke (7) durch das lineare Meßobjekt (5, 5') auslösbar ist.
2. Meßmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Lichtschranken (7) ein Polygon bilden, welches den Querschnitt des als gebogenes Rohr oder Stab ausgebildeten linearen Meßobjektes (5) mit Abstand umschließt.
3. Meßmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß von den Lichtschranken (7) jeweils zwei rechtwinklig und/ oder jeweils zwei parallel zueinander angeordnet sind.
4. Meßmaschine nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Lichtstrahl einer jeden Lichtschranke (7) zumindest im Bereich des Polygonumfanges jeweils einen Mindestabstand ( $a$ ) vom nächstgelegenen Rahmenschenkel (11) der Gabellichtschranke aufweist, der etwa 20 bis 50% des Durchmessers ( $D$ ) des größten, dem Polygon einbeschreibbaren Kreises (12) entspricht.
5. Meßmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die abgewinkelten, einander zugewandten Endstücke (13) des Rahmens der Gabellichtschranke nach außen wegklappbar sind (Scharniere 14) (Fig. 4).
6. Meßmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die einzelnen Lichtstrahlen der verschiedenen Lichtschranken (7) sich in einem gemeinsamen, etwa mittig zwischen den Rahmenschenkeln der Gabellichtschranke liegenden Punkt (15) treffen (Fig. 5).
7. Meßmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß über die offene Seite der Gabellichtschranke hinweg oder ihr außenseitig vorgelagert eine zusätzliche, als Näherungslichtschranke dienende Lichtschranke (16) angebracht ist (Fig. 4).

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine mehrdimensionale Meßmaschine nach dem Oberbegriff von Anspruch 1, wie sie beispielsweise aus der Zeitschrift "Werkstatt und Betrieb" 1986, Seite 532 als bekannt hervorgeht.

Der Meßarm der dort gezeigten Meßmaschine ist ein winklbeweglicher Meßarm ähnlich wie der von einem Industrieroboter. Der Sensor arbeitet mit einem Auf-

setzprisma, welches durch den Bedienungsmann gefühlvoll auf das zu vermessende räumlich gebogene Rohr aufgesetzt werden muß. Durch gesonderten Knopfdruck können nach einer Antastung die einzelnen Meßwerte der verschiedenen Bewegungsachsen des Meßarmes festgehalten, einer Auswertelektronik zugeleitet und aus einem entsprechendem Meßrechner die räumliche Lage des antasteten Bereiches des Meßobjektes ermittelt werden. Durch eine Vielzahl benachbarter Antastungen des linearen Meßobjektes kann dessen räumlicher Verlauf ermittelt werden. Mit den solcherart gewonnenen elektronischen Werkstückdaten können zum einen Werkstattzeichnungen angefertigt werden; zum anderen können auch elektronische Fertigungsunterlagen zur Ansteuerung von NC-gesteuerten Rohrbiegemaschinen damit erstellt werden. Nachteilig an der bekannten Meßmaschine ist, daß das Anschmiegen des Prismas des Sensors nur manuell durchführbar ist und eine gewisse Erfahrung und ein Feingefühl des die Messung durchführenden Arbeiters erfordert. Die Meßkräfte sind relativ hoch, was insbesondere bei langen und dünnen Rohrleitungen deren Form verändern kann. Zumindest sind die Anpreßkräfte nicht genau reproduzierbar und somit nicht rechnerisch kompensierbar. Weil die Messung nur manuell durchgeführt werden kann, besteht keine Automatisierungsmöglichkeit, was bei dem hohen Zeitaufwand der Messung und einer Vielzahl von zu vermessenden Rohrleitungen jedoch wünschenswert wäre. Das Anlageprisma des Sensors der bekannten Meßmaschine darf lediglich im Bereich von geraden Rohrstücken angesetzt werden; eine Messung im Bereich von Krümmungen ist zu vermeiden, häufig aber nicht klar erkennbar. Eine genaue Rohrvermessung im Krümmungsbereich ist jedoch häufig wünschenswert, um biegungsbedingte Querschnittsveränderungen im Krümmungsbereich ermitteln zu können.

Aufgabe der Erfindung ist es, die gattungsmäßig zugrunde gelegte Meßmaschine dahingehend zu verbessern, daß sie berührungsfrei, also ohne das Werkstück beeinflussende Meßkräfte arbeitet, daß die berührungsfreie "Antastung" des Werkstückes durch den Sensor sehr schnell und ggf. auch maschinell durchführbar ist und daß exakte Messungen auch im Krümmungsbereich möglich sind, derart, daß Aussagen über eine etwaige Deformation eines Kreisquerschnittes zu einem Oval sowie Aussagen über die Mittelpunktslage der Rohrachse ohne "doppeltes Antasten" des Rohres möglich sind.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 1 gelöst. Dank der Ausrüstung des Sensors mit mehreren Lichtschranken, die alle in der gleichen Ebene liegen, kommt eine berührungslose "Antastung" des Werkstückes von unterschiedlichen Richtungen, aber in stets der selben Antastebene zustande. Es ist dazu lediglich eine geringfügige Verlagerung des Sensors bis zur Abschattung einer Lichtschranke erforderlich. Hierzu ist keine besondere Erfahrung und kein besonderes Feingefühl nötig, so daß derartige Messungen grundsätzlich auch automatisch durchführbar sind. Wegen der Beschränkung der Antastung auf eine bestimmte Ebene sind exakte Messungen auch im Krümmungsbereich möglich. Aufgrund der das Werkstück umschließenden Lichtschranken kann das Werkstück auf einfache Weise umfangsmäßig allseits antastet werden, so daß in einem einzigen Vorgang sowohl die Mittelpunktslage und der Durchmesser des Querschnittes als auch eine etwaige Abweichung von der Kreisform erfaßt werden können.

Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung können den Unteransprüchen entnommen werden. Im übrigen ist die Erfindung anhand verschiedener in den Zeichnungen dargestellter Ausführungsbeispiele nachfolgend noch erläutert; dabei zeigen:

Fig. 1 die Gesamtdarstellung einer Meßmaschine für Rohrleitungen in perspektivischer Darstellung,

Fig. 2 bis 5 verschiedene Ausführungsbeispiele des Sensors für die Meßmaschine nach Fig. 1.

Fig. 1 zeigt eine auf einem Meßtisch 1 befestigte roboterähnlich aufgebaute Meßmaschine mit einer vertikal stehenden Säule 2, auf der drehbar und schwenkbar der mehrgliedrige Meßarm 3 befestigt ist. Die Säule 2 kann in einer erweiterten Ausführung auch parallel zu einer Tischkante meßbar verfahrbar sein. Sämtliche beweglichen Glieder sind mit Lagesensoren, d.h. mit Winkeldetektoren bestückt, so daß in jedem Schwenkzustand des mit einer Gewichtskompensation ausgerüsteten Meßarmes dessen Lage feststellbar ist. Am Außende des in allen Raumrichtungen bewegbaren und schwenkbaren Meßarmes ist der Sensor 4 angebracht, der als eine über das lineare Meßobjekt 5 hinwegführbare Mehrfach-Gabellichtschranke ausgebildet ist. Das lineare Meßobjekt ist bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel eine Rohrleitung, die auf dem Tisch 1 mittels zweier Kugelstative 6 feststehend aber an nahezu allen Stellen frei zugänglich gehalten ist. Die Mehrfach-Gabellichtschranke kann an allen Stellen und von allen Richtungen her über das lineare Meßobjekt 5 hinweggeschoben werden, wobei eine berührungsfreie "Antastung" des Meßobjektes zustande kommt. Während des tangentialen Durchlaufes einer Lichtschranke durch die Umfangskontur des Meßobjektes kommt es vorübergehend zu einer teilweisen Abschattung dieser Lichtschranke. Wenn diese Abschattung einen definierten Bruchteil des Lichtstrahles, beispielsweise 50% erreicht hat, so wird eine Lagedetektion des Sensors ausgelöst und dabei ein Umfangspunkt des Meßobjektes an der betreffenden Meßstelle ermittelt. Durch aufeinanderfolgende Abschaltung sämtlicher Lichtschranken des Sensors an einer bestimmten Meßebene können mehrere Umfangspunkte auf diese Weise "angetastet" werden.

Bei dem in Fig. 2 einzeln dargestellten Sensor 4 sind drei Lichtschranken 7 vorgesehen, die in Form eines gleichschenkligen, rechtwinkligen Dreiecks angeordnet sind. Jede Lichtschranke 7 ist aus einer Lichtquelle 8 und aus einem Fotodetektor 9 gebildet. Die drei Lichtschranken 7 liegen — wie gesagt — alle in einer einheitlichen Ebene und sind in ihrer Winkellage zueinander genau definiert. Die Strahldurchmesser  $d$  der Lichtstrahlen einer jeden Lichtschranke sind ebenfalls genau definiert. Die Fotodetektoren 9 sind intensitätsempfindlich, so daß eine definierte Abschattung des Lichtstrahles durch das Meßobjekt exakt feststellbar ist. Allerdings setzt dies voraus, daß das seitens der Lichtquelle 8 ausgesandte Licht sehr intensitätskonstant ist. Ein etwaiger Mangel in dieser Hinsicht könnte auch dadurch rechnerisch kompensiert werden, daß das Verhältnis der ausgesandten Lichtintensität einer Lichtquelle, die zu diesem Zweck gemessen werden muß, einerseits zu der am zugehörigen Fotodetektor 9 gemessenen Lichtintensität andererseits ermittelt wird. Äquivalenterweise kann also eine Lagedetektion sowohl aufgrund des Absinkens der absoluten Intensität des Lichtes einer Lichtschranke unter einen definierten Schwellwert als auch bei Absinken eines relativen Intensitätswertes ausgelöst werden.

Bei der Lichtquelle 8 kann es sich um eine kleine Glühfadenlampe mit einer strahlbündelnden Optik oder auch um einen Diodenlaser handeln. Es kann alternativ jeder Lichtschranke jeweils eine gesonderte Lichtquelle 8 oder mehreren oder auch allen Lichtschranken eine einzige Lichtquelle zugeordnet sein. In letzterem Fall ist eine Strahlteilung und eine Strahlausbreitung über Umlenkspiegel oder auch über Lichtleitfasern erforderlich. Die Lichtquellen 8 und die Fotodetektoren 9 sind im Inneren der hohl ausgebildeten Rahmenschenkel 11 der Gabellichtschranke untergebracht; die Rahmenschenkel können zu diesem Zweck jeweils aus einem U-förmigen Profil gebildet sein, welches an der offenen Seite durch ein Blech abgedeckt ist. An einer Umfangsstelle der Gabellichtschranke ragt ein Stiel 10 zum Einspannen des Sensors in die Meßmaschine ab.

Was die Anzahl und gegenseitige Anordnung der Lichtschranken 7 innerhalb einer Mehrfach-Gabellichtschranke anlangt, so gibt es hier eine große Vielfalt von zweckmäßigen Möglichkeiten, von denen nur einige wenige zeichnerisch dargestellt sind. Eine grundsätzliche Möglichkeit der gegenseitigen Anordnung verschiedener Lichtschranken 7, die in den Fig. 2 und 4 in verschiedenen Ausführungen gezeigt ist, besteht darin, daß die Lichtschranken 7 ein Polygon bilden, welches den Querschnitt des Meßobjektes 5 mit Abstand umschließt. Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 ist dieses Polygon ein Dreieck und bei dem Ausführungsbeispiel der Gabellichtschranke nach Fig. 4 ist dieses Polygon ein Quadrat. Je mehr Lichtschranken innerhalb einer Mehrfach-Gabellichtschranke untergebracht sind, umso aufwendiger ist zwar die Gabellichtschranke, umso genauer und rascher kann jedoch mit ihr gemessen werden. Zu einer Messung braucht lediglich die Gabellichtschranke derart verlagert zu werden, daß, paarweise gleichzeitig oder einzeln nacheinander alle Lichtschranken wenigstens einmal durch das Meßobjekt abgeschattet werden. Es kommt dann in der jeweiligen Sensorlage zu einer Lagedetektion, die durch die Strahlabschattung ausgelöst wird. Es werden dann gewissermaßen die Lagen der einzelnen Lichtschranken im Zustand der Abschattung festgehalten, was einer Schar von verschiedenen Umfangstangenten des Objektquerschnittes entspricht. In diesen Kranz von Umfangstangenten kann dann rechnerisch eine Kontur hineingeschmiegt werden, die im Regelfall eine Kreiskontur oder ein Oval sein wird. Denkbar ist es auch, den Auswerterechner mit einem entsprechenden Auswerteprogramm zu versehen, der auch andere als kreisrunde Ausgangsquerschnitte, beispielsweise Mehrkantprofile und ihre biegebedingte Querschnittdeformation erfassen kann.

Bei der polygonalen Anordnung der Lichtschranken innerhalb einer Mehrfach-Gabellichtschranke wird man regelmäßige Polygone, zumindest aber symmetrische Polygone anstreben. Zweckmäßig ist auch, jeweils zwei Lichtschranken rechtwinklig und/ oder jeweils zwei Lichtschranken — anderer Paarung — parallel zueinander anzuordnen.

Eine weitere zweckmäßige Möglichkeit einer gegenseitigen Anordnung von Lichtschranken ist in Fig. 3 anhand des Sensors 4' gezeigt. Und zwar sind dort die Lichtschranken 7 nach Art eines Fadenkreuzes innerhalb eines relativ großen rahmenartigen Sensors angeordnet, der lediglich im Bereich einer Ecke zum Drüberschieben über das Werkstück 5 offen ist. Bei dieser Ausgestaltung ergeben sich trotz einer geringen Anzahl von Lichtschranken 7 viele Möglichkeiten einer berührungsfreien "Antastung" des Werkstückes in insgesamt vier

Quadranten. Nachteilig bei dieser Ausgestaltung ist jedoch, daß der Sensor 4' relativ groß baut, was bei bestimmten Anwendungen hinderlich sein kann.

Um das Meßobjekt 5 auch tatsächlich berührungsfrei "Antasten" zu können, ist es zweckmäßig, daß der Lichtstrahl einer jeden Lichtschränke 7 einen Mindestabstand  $a$  vom nächstgelegenen Rahmenschenkel 11 der Gabellichtschränke aufweist. Bei geneigter Anordnung des Lichtstrahles zum Rahmenschenkel sollte zumindest im Bereich des Polygonumfanges ein entsprechender Mindestabstand  $a$  gegeben sein. Dieser Mindestabstand kann beispielsweise etwa 20 bis 50% des Durchmessers  $D$  des größten dem Polygon einbeschreibbaren Kreises 12 entsprechen. Durch Einhaltung eines solchen Mindestabstandes wird die Gefahr einer Berührung des Werkstückes durch die Gabellichtschränke selber vermieden.

Um an jeder beliebigen Längsposition des linearen Werkstückes die Gabellichtschränke radial und gefahrlos berührungsfrei über das Werkstück hinwegzuschieben zu können, sind beim Ausführungsbeispiel eines Sensors 4'' nach Fig. 4 die abgewinkelten, einander zugewandten Endstücke 13 des Rahmens der Gabellichtschränke nach außen wegklappbar. Zu diesem Zweck sind geeignete Scharniere 14 vorgesehen. Muß die Gabellichtschränke berührungsfrei über ein relativ großes Rohr drübergeschoben werden, so wird man zweckmäßigerweise die beiden Endstücke 13 nach außen wegklappen und in der meßbereiten Position der Gabellichtschränke diese Endstücke wieder zurückklappen. Bei geeigneter Programmierung des Auswerterechners besteht eine gewisse Selbstkontrolle dadurch, daß die parallel zum Stiel 10 verlaufenden Lichtschränken bei abgeklappten Endstücken 13 nicht definiert sind und die entsprechenden Fotodetektoren 9 kein Licht empfangen. Dieser Zustand kann als Signal dafür ausgewertet werden, daß die Endstücke noch nicht ordnungsgemäß eingeklappt sind. Die Einklappung kann über mechanische Verriegelungen oder über Haftmagnete gesichert werden. Zweckmäßigerweise wird man in die abklappbaren Endstücke 13 lediglich die Fotodetektoren 9 der Lichtschränken 7 hineinlegen, deren Lage für die Meßgenauigkeit bestimmende Strahllage relativ unwichtig ist.

Um die Handhabung eines in eine Meßmaschine eingesetzten erfindungsgemäßen Sensors noch weiter zu vereinfachen, ist zweckmäßigerweise über die offene Seite der Gabellichtschränke hinweg eine zusätzliche als Näherungslichtschränke dienende Lichtschränke 16 angebracht, wie dies ebenfalls in Fig. 4 dargestellt ist. Die zusätzliche Lichtschränke 16 kann auch außenseitig im Bereich der offenen Seite der Gabellichtschränke vorgelagert sein. An diese Lichtschränke werden hinsichtlich Lichtintensität, Strahllagekonstanz und Strahldurchmesser nicht so hohe Anforderungen gestellt wie an die anderen Lichtschränken 7, weil mit ihr lediglich eine Annäherung an einen Gegenstand festgestellt werden soll. Eine solche zusätzliche Lichtschränke 16 ist auch beim automatischen messen zweckmäßig, u.a. auch zum Auf-/Zuklappen der Endstücke 13.

Am Ausführungsbeispiel eines Sensors 4''' gemäß Fig. 5 soll veranschaulicht werden, daß erfindungsgemäße Mehrfach-Gabellichtschränken nicht nur für räumlich gebogene Rohre oder Stäbe, sondern auch für räumlich gewundene andersartige Konturverläufe von Werkstücken sinnvoll eingesetzt werden können. Bei dem in Fig. 5 angedeuteten Blechbauteil besteht das Meßobjekt 5' lediglich aus dem Kantenbereich dieses Blechbauteiles, dessen Verlauf mittels des Sensors 4'''

vermessen werden soll. Die Gabellichtschränke baut in diesem Fall besonders klein, weil sie lediglich über die räumlich verwundene Blechkante hinweggeschoben zu werden braucht. Sie enthält beim dargestellten Ausführungsbeispiel insgesamt drei Lichtschränken 7. Diese sind jedoch so angeordnet, daß die einzelnen Lichtstrahlen sich in einem gemeinsamen etwa mittig zwischen den Rahmenschenkeln der Lichtschränke liegenden Punkt 15 treffen. Sofern — wie in Fig. 5 dargestellt — die seitlichen Rahmenschenkel der Gabellichtschränke etwas länger als für die gegenseitige Tiefenstafflung der Lichtquellen 8 bzw. der Fotodetektoren 9 nötig ist, ausgebildet sind, kann nicht nur der Konturverlauf der äußersten Blechkante, sondern es können dann auch randnahe Bohrungen auf richtige Lage vermessen werden. Es kann nicht nur der Verlauf der Randkontur selber kontrolliert, sondern es kann auch der Blechrand auf Gratisfreiheit überprüft werden.

Ergänzend sei schließlich noch erwähnt, daß der erfindungsgemäße Sensor auch für Meßmaschinen anderer Grundkonfiguration, insbesondere für Mehrkoordinatenmeßgeräte mit kartesischem Bezugssystem und nur translatorisch-räumlich verfahrbarer Meßpinole als lage-detektierender Meßarm einsetzbar ist, sofern der Sensor nur von einer Richtung her über das Meßobjekt drübergeschoben zu werden braucht, was bei geringer räumlicher Krümmung des Meßobjektes dank der Ausbildung des Sensors als Mehrfach-Gabellichtschränke mit polygonaler Lichtschränkenanordnung ausreichend wäre. Sofern bei einem solchen Einsatz das Meßobjekt aus unterschiedlichen Richtungen und bei unterschiedlichen Neigungen z. B. weil das Meßobjekt stark räumlich gebogen ist, "angetastet" werden muß, ist eine lage-detektierende Schwenklagerung des Sensors am Meßpinolenende unumgänglich; allerdings kann eine Schwenklagerung um nur zwei verschiedene Schwenkachsen u. U. ausreichen.

- Leerseite -

3724656

14 1 Daim 17 327/4  
DI 1.3  
Nummer: 37 24 656  
Int. Cl.<sup>4</sup>: G 01 B 11/03  
Anmeldetag: 25. Juli 1987  
Offenlegungstag: 18. August 1988

Fig. 1

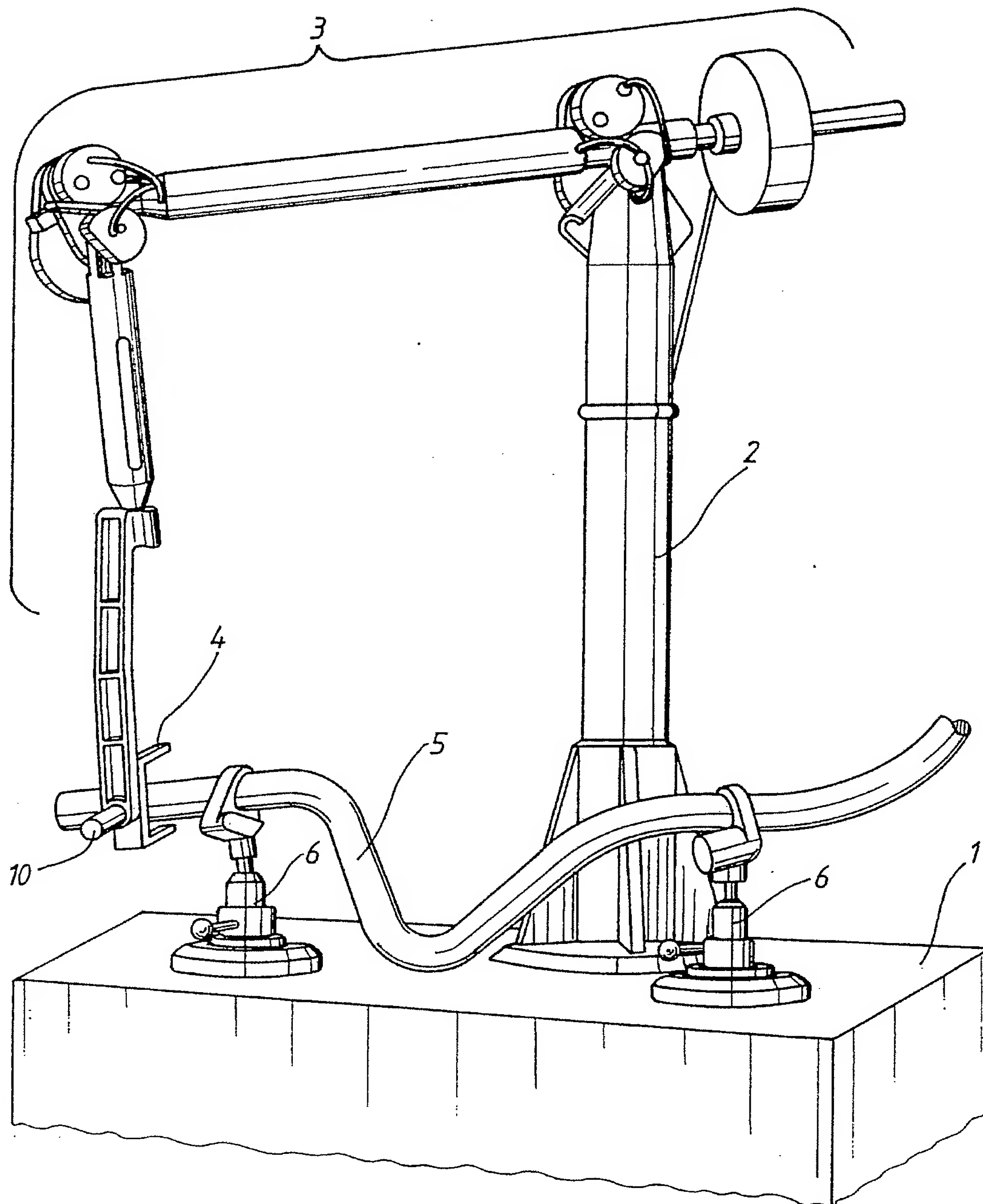


Fig. 2

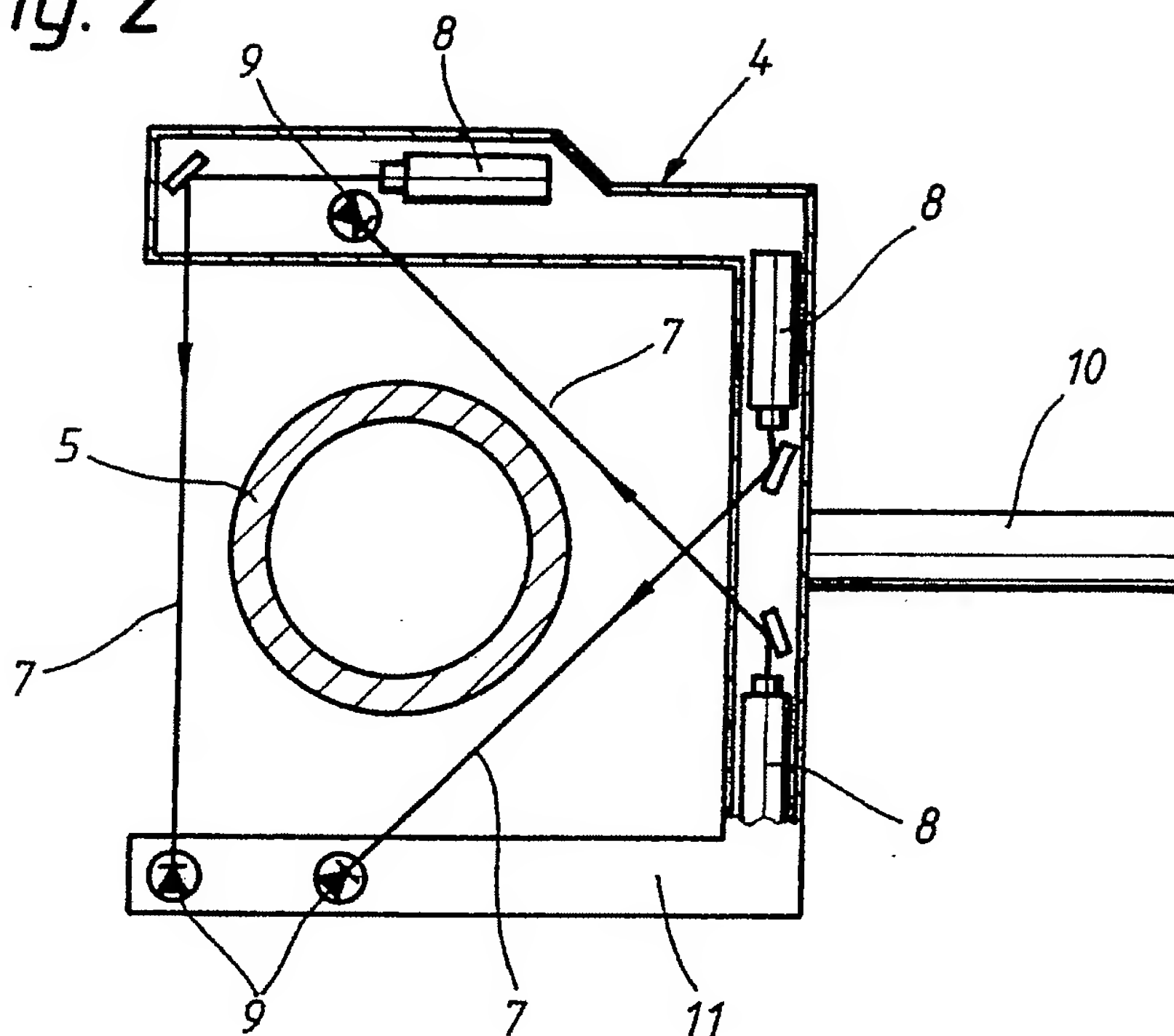
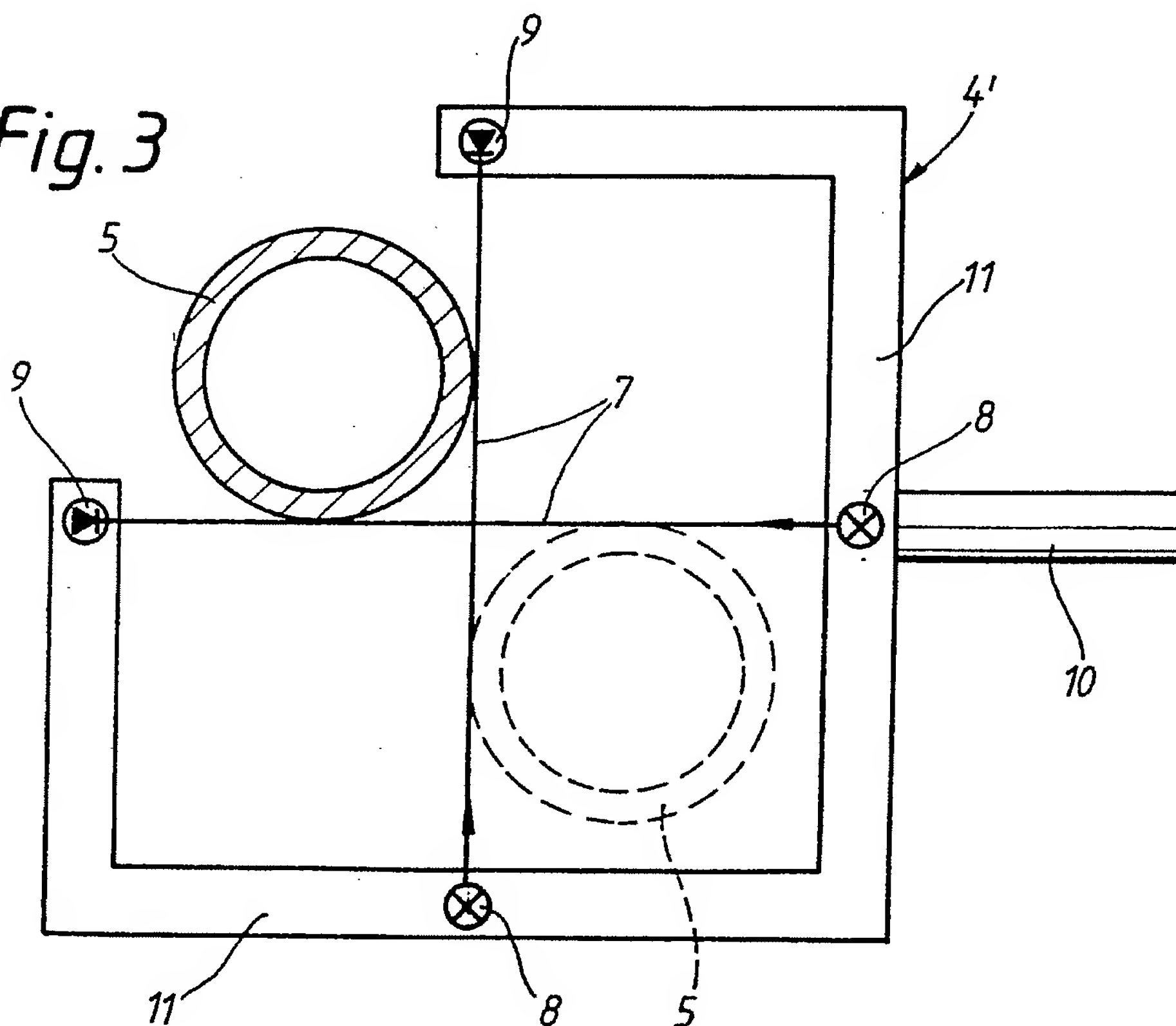


Fig. 3



3724656

Fig. 4

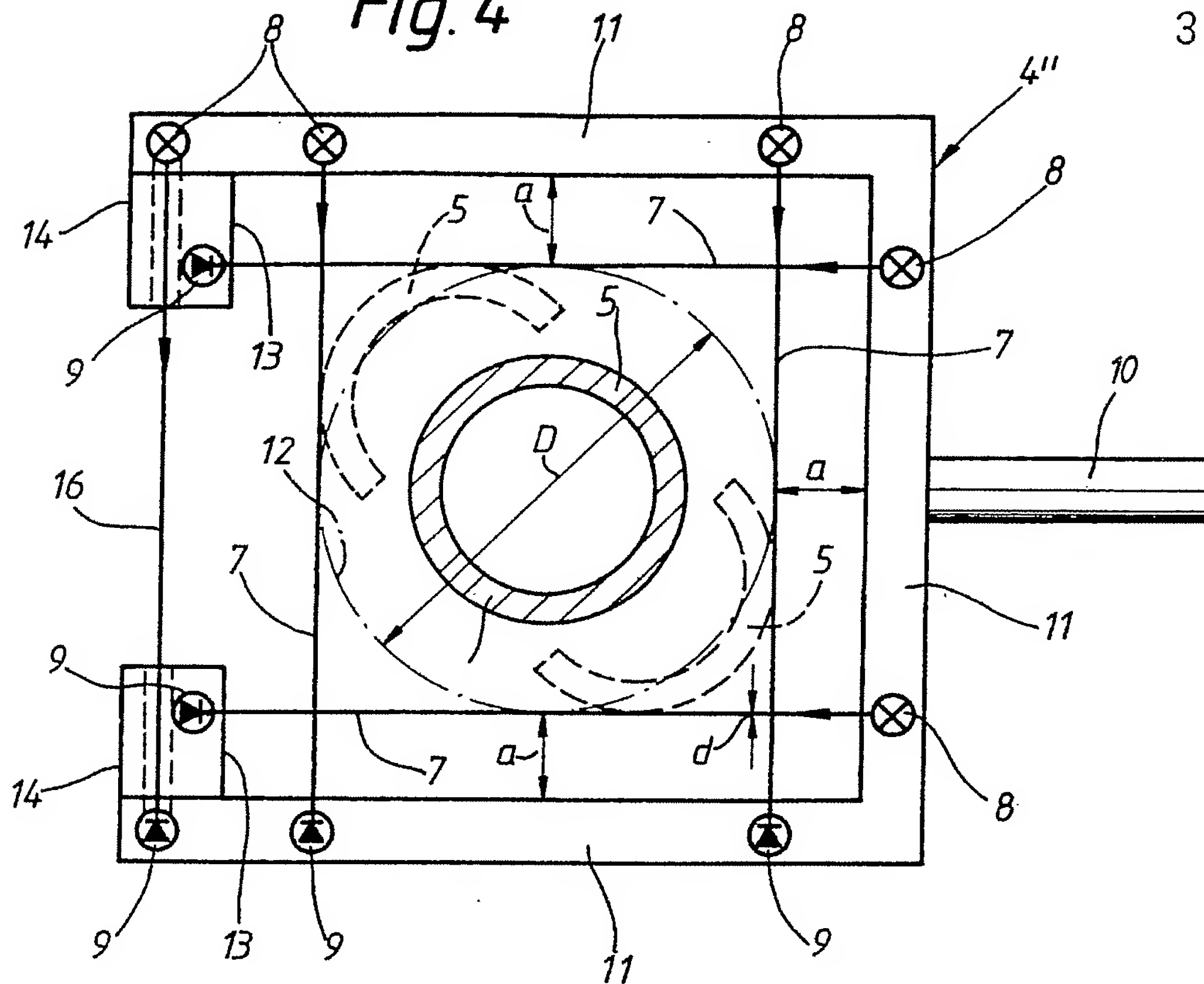
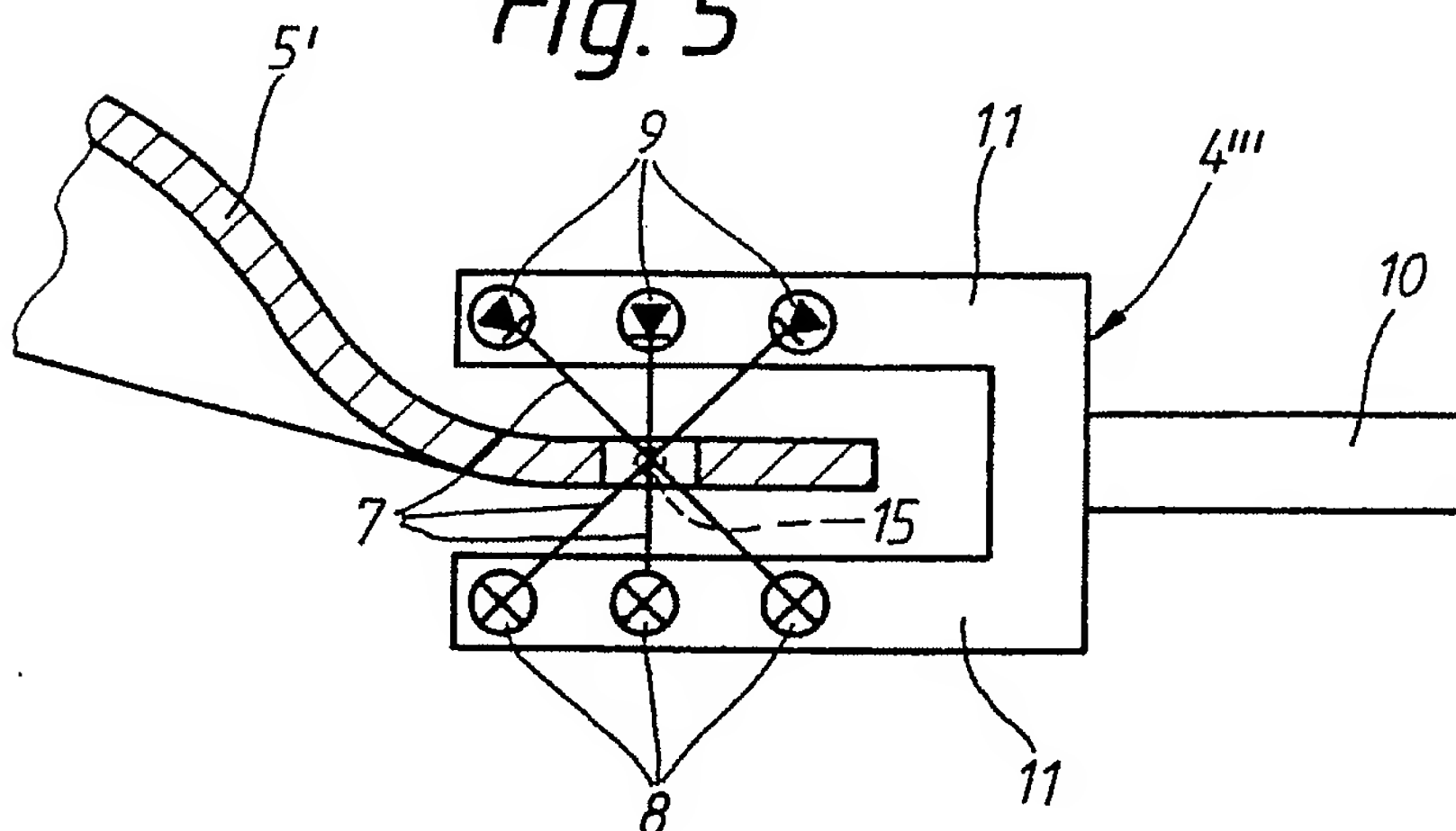


Fig. 5



ORIGINAL INSPECTED